

(論文)

タッチパネル用低反射配線材料

Low-reflection Electrode Materials for Touch Screen Panels



越智元隆*¹
Mototaka OCHI



志田陽子*¹
Yoko SHIDA



後藤裕史*¹
Hiroshi GOTO



釘宮敏洋*¹ (工博)
Dr. Toshihiro KUGIMIYA



奥野博行*²
Hiroyuki OKUNO

Touch screen panels have rapidly been developed as input devices, due to the popularity of smart phones and tablet PCs equipped with high-definition displays. Al-based triple-layered metal mesh electrodes including an Al-N system layer for optical adjustment have been developed. The Al-N system layer has a broader process margin in combination with the developed Alalloy sputtering target. The electrode exhibits excellent low-reflective properties along with a wet etching property that facilitates its micro-fabrication. Due to its high noise immunity and contact sensitivity originating in its low electrical resistivity, the metal mesh electrode is useful for touch-sensitive panels in the ultra-high-resolution displays of the next generation.

まえがき = スマートフォンやタブレットPCに代表される高解像度ディスプレイの市場規模の拡大に伴ってタッチパネル市場が急速に成長している¹⁾。そのタッチ操作の検出方法は多種あるが²⁾、高精度な位置検出と複数のタッチ位置を同時検出する特徴を有する投影型静電容量方式が主流となっている。投影型静電容量方式タッチセンサを外付けするアウトセル型のタッチパネルに加え、最近では、タッチセンサを備え、かつ、軽量・薄型・低コスト化のために、タッチセンサをカバーガラスに形成するワングラスソリューション (OGS) 型、液晶とタッチパネルを一体化するインセル型やオンセル型がますます注目されている (図1)^{3)~6)}。

これら投影型静電容量方式タッチセンサのセンサ電極には酸化インジウムスズ薄膜 (以下、ITO薄膜という) からなる透明導電膜が広く利用されてきた (図2 (a))。しかし、ITO薄膜のシート抵抗は100Ω/square程度と高

いため、低抵抗化による駆動周波数の高速化やノイズ影響の低減が求められている。また、センサ電極形状においても、従来型の平面電極ではなくフリンジ容量を利用する⁷⁾ 金属メッシュ電極 (図2 (b)) は接触感度を向上させることができる。このため、高解像度ディスプレイのセンサ電極には、とくに金属メッシュ電極のニーズが高まっている。

これまではCuやAgを用いた金属メッシュ電極の開発が先行されてきた。これら金属薄膜で形成された金属メッシュ電極は反射率が高いため、外光反射による視認性の抑制 (低反射) が必要であり、光学調整層を積層した不可視化技術を備えた構造においては狭配線加工との

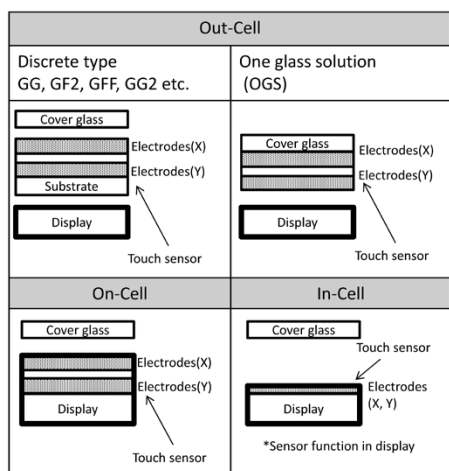


図1 静電容量型タッチパネルの代表的な断面構造

Fig. 1 Typical cross-sectional structure of the capacitive touch panel

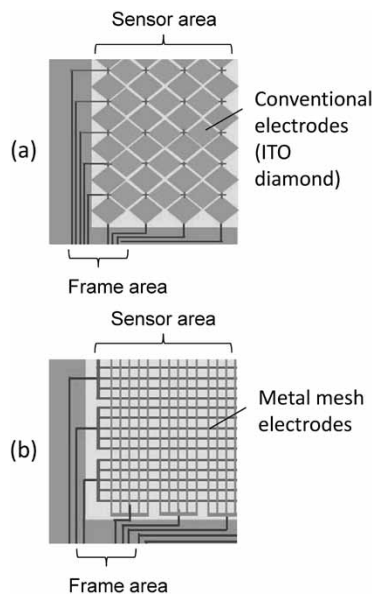


図2 タッチセンサ電極構造 (a) 従来ITO電極, (b) 金属メッシュ電極
Fig. 2 Touch sensor of electrodes structure by (a) conventional ITO electrodes and (b) metal mesh electrodes

*¹ 技術開発本部 電子技術研究所 *² (株)コベルコ科研 ターゲット事業本部 技術部

両立は困難であった。当社のグループ会社である(株)コベルコ科研では、Al-Nd合金スパッタリングターゲットをはじめとする金属系スパッタリングターゲットの製造に強みを有している。そこでこのたび、配線加工が容易で信頼性の高いAlメッシュ電極の商品開発を行うこととした。本稿では、フラットパネルディスプレイ (FPD) 産業で既に共通化されている製造方法を用い、不可視化技術を備えたAlメッシュ電極の開発について報告する。

1. 低反射Alメッシュ電極の考え方と技術課題

Alメッシュ電極の開発にあたり、不可視化と微細加工の両立のために光学調整層を備えた積層構造を検討した。一般的に、光学干渉のみで反射率を制御するためには光学調整層は少なくとも3層が必要である。さらにAl配線層はその耐食性を確保するためにMo/Al/Moの3層が必要となり、都合6層の積層構造が必要になると考えられた。しかしながら、金属メッシュ電極の生産性と微細加工性を確保するためには一括して電極加工することが望ましいことから、同一のAl基配線を用いた設計と光学調整層数の削減を検討する必要があった。

そこで、光学調整層は高屈折率薄膜と新規開発の光学吸収薄膜によって2層に削減し、一方のAl配線層は、耐食性をもつAl合金薄膜 (Al-Mn基合金など) によって配線を1層に削減する3層積層構造の実用化を検討した。ここで、高屈折率薄膜には酸化インジウム亜鉛薄膜 (以下、IZO薄膜という) を、光学吸収薄膜にはAl窒化薄膜を用いて光学調整を担うこととし、これら構造の簡略化 (図3) による一括配線加工によって顧客での生産性の向上を図った。しかしながら、反応性スパッタリング法などで成膜した窒化アルミニウム薄膜は一般的には透明絶縁膜として知られており⁸⁾、純Alスパッタリングターゲットを用いた反応性DCマグネトロンスパッタリング法で作製したAl窒化薄膜の操作条件に対するプロセスマージンの確保が課題であった。

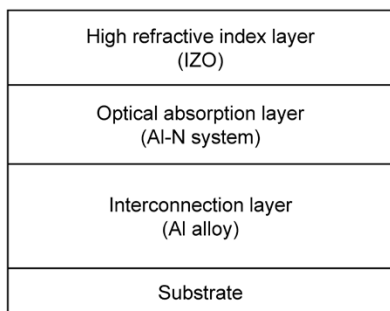


図3 提案した3層積層型のAlメッシュ電極
Fig. 3 Proposed Al-based triple-layered metal mesh electrodes

2. 実験方法

2.1 光学吸収層の作製・評価方法

光学吸収層としてのAl窒化薄膜は、ガラス (コーニング#1737) 基板上に反応性DCマグネトロンスパッタリング法 (アルバック製CS-200) を用いて作製した。主な成膜条件を表1に示す。ここでは、スパッタリング

表1 Al窒化薄膜の成膜条件

Table 1 Sputtering process parameters for Al-N system thin films

Process parameters	Values
Substrate temperature	RT
Sputtering gas	Ar
Reactive gas	N ₂
Sputtering power density	6.2 W/cm ²
Base pressure	< 4.0 × 10 ⁻⁴ Pa
Working pressure	0.3 Pa
Target-substrate distance	155 mm

に必要なガス (Ar) に反応性ガス (N₂) を加え、その流量比率を制御することで各種のAl窒化薄膜を作製して評価した。なお、スパッタリングターゲットには純AlターゲットおよびAl合金ターゲットを用いた。薄膜試料の組成は誘導結合プラズマ発光分析 (ICP) にて分析した。Al窒化薄膜の分光反射率・透過率の測定は自動絶対反射率測定装置 (日本分光製ARM-500N) を用いて行った。さらに、電気抵抗率測定は4端子抵抗測定器 (日置電機製ミリオームハイテスタ3540) を用いて行った。また、Al窒化薄膜の結晶構造解析は透過型電子顕微鏡観察 (日立製作所製HF-2200) を、状態解析はX線光電子分光法 (ULVAC PHI製Quantera SXM) を用いて行った。

2.2 Alメッシュ電極の作製・評価方法

メッシュ電極は、Al-Mn基合金薄膜、Al窒化薄膜、IZO薄膜の計3層を連続してガラス基板上に成膜した後、水洗浄および乾燥処理を行い、メッシュ電極を形成するためにフォトリソグラフィによって、露光されたフォトレジスト (AZ TFP 650) を現像液 (AZ 300 MIF) によって除去してパターンを形成した。その後、りん酸：硝酸：酢酸：水 = 70 : 2 : 10 : 18 (wt%) の割合からなる一般的な混酸であるPANエッチャントを満した容器内に浸漬してエッチングを行った。レジストによってマスクされていない3層積層膜が完全に溶出した後、さらに3層積層膜が完全に溶出する時間の50%に相当する追加エッチング (オーバエッチング) を施した。最後に、フォトレジストをレジスト剥離 (はくり) 液 TOKI04によって剥離して完成させた。評価は分光反射率測定、光学顕微鏡 (OM) および走査型電子顕微鏡 (SEM) による形状観察を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 Al窒化薄膜の特性変化⁹⁾

窒素とアルゴンの混合ガス比 (以下、窒素流量比という) を変化させたときの、50nm膜厚のAl窒化薄膜における光 (波長550nm) の反射率、透過率および吸収率 (反射率および透過率から算出) の変化の様子を図4に示す。ここではスパッタリングターゲット材には純Al (99.999%純度) を用い、図中の窒素流量比0%は、リファレンスとしての純Al薄膜を示している。図より、波長550nmの反射率は窒素流量比の増加とともに徐々に低下して一定値に収束している。一方、透過率は窒素流量比の増加に対して緩やかに増加した後、急激に増加して一定値に収束する。反射率と透過率から求めた吸収率

は、約17%の窒素流量比において最も高くなる結果が得られた。これらの結果は波長550nmに限らず400nm～800nmの可視光領域で同様の傾向であった。

同様に、図5はAl窒化薄膜の電気抵抗率の窒素流量比依存性を示す。窒素流量比の増加に対して緩やかに増加した後、急激に増加しており、導体から絶縁体に変化していることがわかる。高い光吸収率を有する約17%の窒素流量比におけるAl窒化薄膜の電気抵抗率は、純Al薄膜に比べて2桁程度高いものの、絶縁性の窒化アルミニウム薄膜に比べると十分に低い導電性が得られることが明らかとなった。

図6は、窒素流量比が約17% (a)図)と約33% (b)図)におけるAl窒化薄膜の高分解能透過型電子顕微鏡 (HRTEM) の観察結果 (左図) を示す。図中には、電子線回折像と六方晶系窒化アルミニウム型構造に基づく解析結果 (右図) を併せて示した。高い吸収率と導電性を有する窒素流量比が約17%のAl窒化薄膜は、非晶質窒化アルミニウムが主要な膜であり、微量の結晶性窒化アルミニウムを含んでいることがわかる。一方、透明かつ絶縁体である窒素流量比が約33%のAl窒化薄膜は結晶性窒化アルミニウムが支配的な膜といえる。さらに、窒素流量比が約17%のAl窒化薄膜は、X線光電子分光法 (XPS) による状態解析からアルミニウム金属成分を含むことも明らかとなった (図7)。これらの解析によって、高い光吸収と高い導電性を有する約17%の

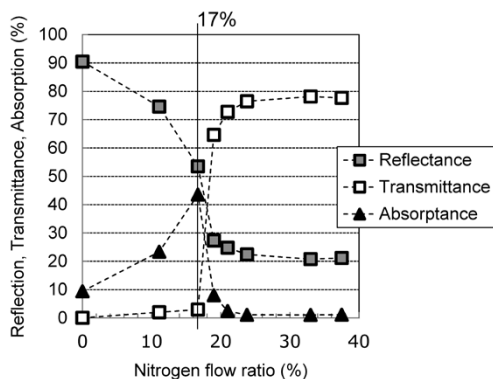


図4 Al窒化薄膜の反射率、透過率、吸収率と窒素流量比の関係 (純Alスパッタリングターゲットを用いた場合)

Fig. 4 Relationship between reflectance, transmittance and absorbance of Al-N system thin film and nitrogen flow ratio deposited (using pure-Al sputtering target)

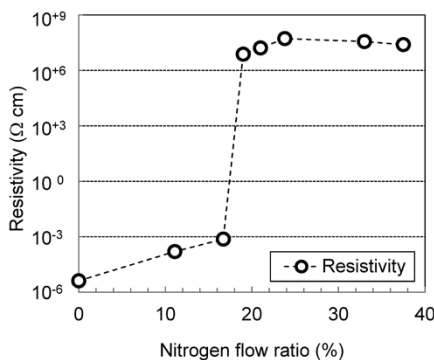


図5 Al窒化薄膜の電気抵抗率と窒素流量比の関係 (純Alスパッタリングターゲットを用いた場合)

Fig. 5 Relationship between electrical resistivity of Al-N system thin film and nitrogen flow ratio (using pure-Al sputtering target)

窒素流量比で作製したAl窒化薄膜は、結晶構造の変化によって、光吸収に寄与する組織と電気伝導に寄与する組織が混在していることがわかる。また、このようなAl窒化薄膜の形成は、反応性スパッタリングにおける窒素流量比の調整によって制御できることが明らかとなった。

しかしながら、図4および図5で示したように、純Alスパッタリングターゲットを用いて作製したAl窒化薄膜においては、高い光吸収と導電性を両立する窒素流量比の範囲は狭い。そのため、窒素流量比に対するプロセスマージンを改善するスパッタリングターゲット材を開発するための実験を行った。特定の遷移金属元素としてCuを添加したとき、Al窒化薄膜の電気抵抗率とCu濃度の関係を図8に示す。なお、いずれのAl窒化薄膜も、窒素流量比を23.8%として反応性スパッタリング成膜を行った。図8には図5で示したCu元素を添加していない条件での電気抵抗率 (図の■) を重ねて示しており、本成膜条件下における同Al窒化薄膜の電気抵抗率は $5.0 \times 10^{+7} \Omega \cdot \text{cm}$ を超える値を示す一方で、さまざまなAl-Cuターゲットもしくは純AlターゲットにCuをチップオンしたターゲットを用いて作製したAl窒化薄膜は、Cu添加量が増加するほど電気抵抗率が低下することがわかった。今回の検討の結果、純Alスパッ

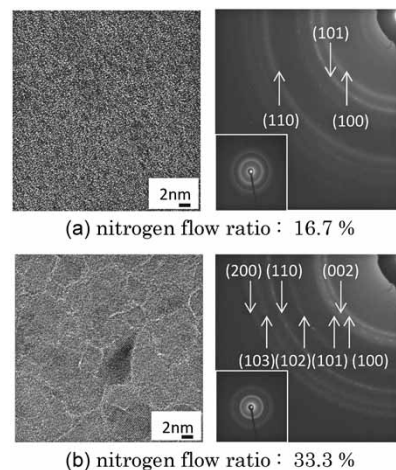


図6 Al窒化薄膜の平面HRTEM像 (左) および電子線回折パターンと解析結果 (右)

Fig. 6 In-plane HRTEM images (left) and Electron diffraction patterns and analysis results (right) of Al-N system thin

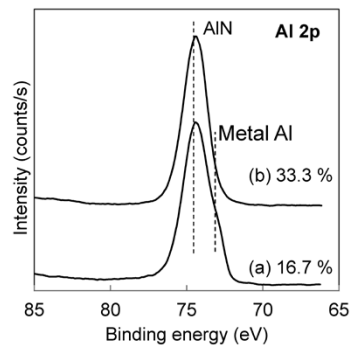


図7 Al窒化薄膜のAl 2pのXPSナローキャンスペクトル (a) 窒素流量比 16.7%, (b) 窒素流量比 33.3%

Fig. 7 XPS narrow scan spectra in Al 2p on the surface of Al-N system thin film (a) nitrogen flow ratio: 16.7%, (b) nitrogen flow ratio: 33.3%

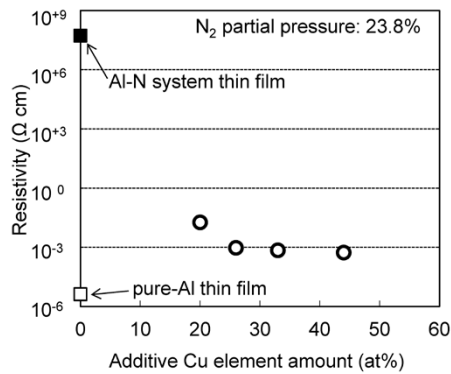


図8 Cu元素を添加したAl窒化薄膜の電気抵抗率
Fig. 8 Electrical resistivity of Al-N system thin film doped with Cu element

タリングターゲットを用いて作製したAl窒化薄膜は絶縁性の窒化アルミニウム薄膜であるが、Cuを添加することによって電気抵抗率の増加を抑制できることを見出した。

3.2 Al合金スパッタリングターゲット材の開発

Al合金スパッタリングターゲットにおけるCu元素の添加量増加に伴って、Al窒化薄膜の高い光吸収率と高い導電性を両立できる窒素流量比の範囲が増加する傾向があることがわかった。一方で、経済性の観点からは、添加量の増大は材料コストの上昇につながることから、できるだけ添加量を少なくすることが好ましい。また、Al合金スパッタリングターゲットの製造コストも考慮する必要がある。さらに、添加元素に帰属する金属間化合物が製造過程において形成されるため、添加元素量が多くなるほどターゲット中の金属間化合物の密度が高くなり、塑性加工中に割れが発生しやすくなる。このため、塑性加工中の割れを防止できる組成範囲を設定し、Al窒化薄膜の特性とスパッタリングターゲットの製造の容易性を考慮した最適組成を抽出してAl合金スパッタリングターゲット材を開発した。

新規開発したAl合金スパッタリングターゲットを用いて作製したAl窒化薄膜の反射率、吸収率および電気抵抗率の窒素流量比依存性を図9に示す。なお、試料の膜厚は50nmで、吸収率は波長550nmの値を用いた。新規開発したAl合金スパッタリングターゲットを用いたAl窒化薄膜は、純Alスパッタリングターゲットを用いたAl窒化薄膜(図4、図5)に比べて、窒素流量比に対する反射率が緩やかに低下するとともに、電気抵抗率も緩やかに増加している。また、透明絶縁膜である窒化アルミニウム薄膜に変化する範囲は高窒素流量比側にシフトしている。これらの結果から、プロセスマージンが向上していることがわかる。また、さらに高い吸収率が得られる窒素流量比の範囲が広がるという改善がみられており、窒素流量比が約28%で最も高い吸収率が得られることがわかる。

3.3 Alメッシュ電極の特性と応用

Alメッシュ電極のために準備された—(1) Al-Mn合金薄膜単層、(2) Al窒化薄膜/Al-Mn合金薄膜の2層積層膜、(3) IZO薄膜/Al窒化薄膜/Al-Mn合金薄膜の3層積層膜—における波長400~800nmの分光

反射率を図10に示す。Al窒化薄膜は窒素流量比28%で成膜し、膜厚は50nmとした。配線層であるAl-Mn合金薄膜単層(250nm)では可視光領域において90%前後の反射率を示した。つぎに、Al窒化薄膜を積層した2層積層膜(Al窒化薄膜(50nm)/Al-Mn合金薄膜(250nm)/ガラス基板)は、可視光領域において70%程度が低減されており、反射率は20%以下を示した。このように、Al窒化薄膜をAl配線膜上に配置することで一次入射光を減衰し、反射率を低減できることがわかった。さらに、IZO薄膜を積層した3層積層膜(IZO薄膜(50nm)/Al窒化薄膜(50nm)/Al-Mn合金薄膜(250nm)/ガラス基板)とすることによって可視光領域における反射率はさらに低減されることが示された。IZO薄膜を配置することにより、空気/IZO薄膜界面およびIZO薄膜/Al窒化薄膜界面の反射光の光学干渉によって反射率をさらに低減できることが明らかとなった。

図11は3層積層膜を用いて一括配線加工によりメッ

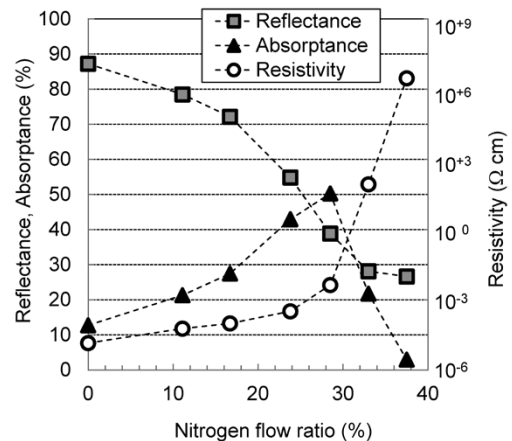
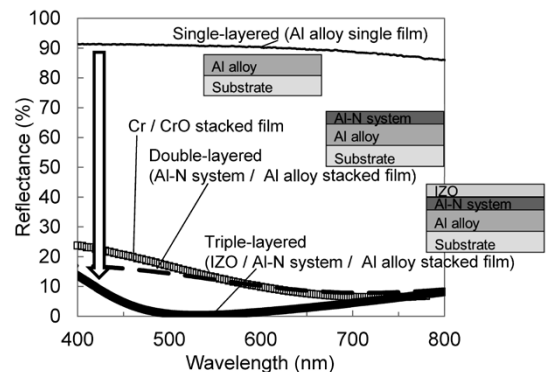


図9 Al窒化薄膜の反射率、吸収率、電気抵抗率と窒素流量比の関係(新規開発したAl合金スパッタリングターゲットを用いた場合)

Fig. 9 Relationship between reflectance, absorptance and electrical resistivity of Al-N system thin film and nitrogen flow ratio (using developed Al alloy sputtering target)



	Reflectance %		
	450 nm	550 nm	650 nm
Single-layered (Al alloy-250 nm)	91.2	90.7	89.5
Double-layered (Al-N system-50 nm/Al-250 nm)	16.1	12.3	8.6
Triple-layered (IZO-50 nm/Al-N system-50 nm/Al-250 nm)	4.8	0.5	2.7

図10 Al窒化薄膜を含む多層膜積層構造の分光反射率(新規開発したAl合金スパッタリングターゲットを用いた場合)

Fig.10 Reflectances of stack layered stack films with Al-N system thin films (using developed Al alloy sputtering target)

シュ電極を形成した後の上面および断面のSEM観察像を示す。PANエッチャントに対するIZO薄膜、Al基窒化薄膜、Al配線膜のエッチングレートはそれぞれ410nm/min, 70nm/min, 55nm/minである。5 μ m以下の配線幅に加工できるうえに70度程度のテーパ形状を示すため、配線端の外光反射が生じない良好な形状であることがわかる。

一方、タッチパネル用メッシュ電極はガラス基板の表面側に形成する場合だけでなく、アウトセル型タッチパネルのOGS構造タッチセンサではメッシュ電極は基板の裏面側に形成される(図1)。そのため、同構造における外光反射を抑制することを目的として基板に対して逆構造になる積層膜(逆積層膜)の評価を行った。図12に2層逆積層膜(Al-Mn基合金薄膜(250nm)/Al基窒化薄膜(50nm)/ガラス基板)および3層逆積層膜(Al-Mn基合金薄膜(250nm)/Al基窒化薄膜(50nm)/IZO薄膜(50nm)/ガラス基板)におけるガラス基板側から測定した分光反射率を示す。いずれも、可視光領域において20%を下回る反射率の結果が得られている。図中には3層逆積層膜でメッシュ電極を形成したときの断面SEM像を示しているが、外光は基板越しに照射されるため、Alメッシュ電極の配線端の外光反射は3層積層膜よりもさらに影響を受け難いことがわかる。

これまでの一連の評価結果はガラス基板を用いて行った。一方、静電容量タッチパネルのセンサ基板材料としてはガラス基板の他にもフィルム基板がある¹⁰⁾。また、

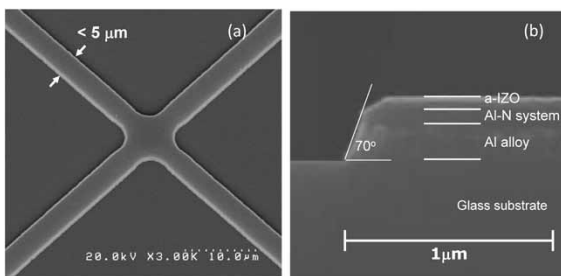


図11 Alメッシュ配線の(a)上面図および(b)断面図

Fig.11 (a) top view and (b) cross-sectional view of Al-based triple-layered mesh electrodes

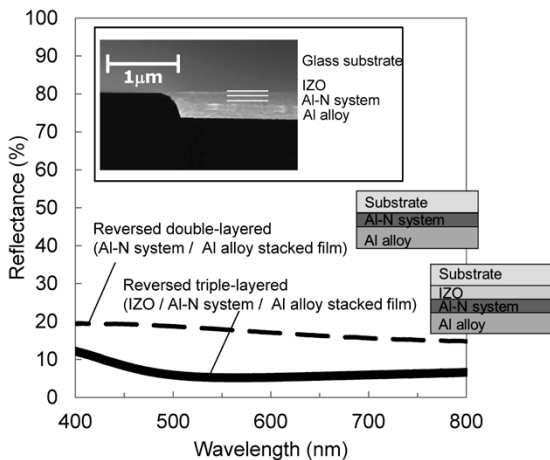


図12 Al基窒化薄膜を用いた2層および3層逆積層構造の分光反射率(Al合金スパッタリングターゲットを用いた場合)

Fig.12 Reflectance of reversed double-layered and triple-layered stack film with Al-N system thin film (using Al alloy sputtering target)

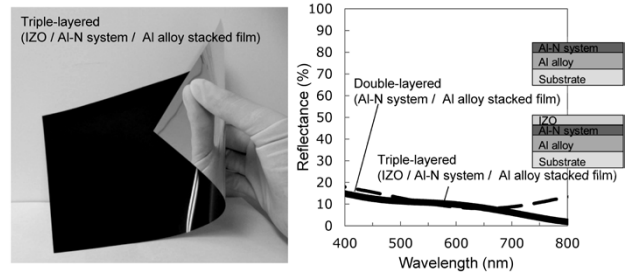


図13 フィルム基板に当社R2Rスパッタ装置で作製された3層積層構造の外観写真と2層および3層積層構造の反射率

Fig.13 Photographic image of triple-layered stack film and reflectances of double-layered and triple-layered stack film fabricated on film substrate by roll-to-roll sputtering equipment

フィルム基板を用いた生産プロセスは、ロール・ツー・ロール(以下、R2Rという)方式が可能であることから、フィルム基板適用の拡充が期待されている。図13はフィルム基板に当社R2Rスパッタ装置¹¹⁾で作製した3層積層膜の外観写真と、2層および3層積層膜の反射率を示している。フィルム基板上に作製された3層積層膜においても基板反りのような不具合がなく、ガラス基板と同等の低反射および分光反射特性を示すことを確認できた。

以上の知見をもとに、タッチパネルのAlメッシュ配線用に新規Al合金材料を開発し、(株)コベルコ科研において新規ターゲット材として商品化している。

むすび=近年、急速に普及が進んでいるタッチパネルのさらなる高性能化に必要となるメッシュ電極に関して、不可視化や生産性に優れた新規Alメッシュ電極の開発について述べた。タッチパネルは、スマートフォンやタブレットPCでの入力におけるキーボードレス化として個人用途で使用されるようになり、市場が本格化した。今後はさらに、デジタルサイネージ(電子看板)や車載ディスプレイ、自由な形状のディスプレイやフレキシブルディスプレイ(ベンダブル、ローラブル、フォールダブル、ディスプレイザブル)などの用途展開が求められていく。このような状況の中、さらなる信頼性向上や新たな不可視化技術の必要性が高まることが考えられ、今後とも多様な市場ニーズに対応できる薄膜材料を提供していきたい。

参考文献

- 1) Touch Panel Market Analysis. 25th Display Search Forum. 2013.
- 2) Y. Mitani et al. NIPPON GOME KYOKAISHI. 2011, Vol.84, p.256.
- 3) N. Nakatani et al. Proc. IDW'12. 2012, p.807.
- 4) H. Haga et al. SID 09 DIGEST. 2009, p.37.
- 5) S. Takahashi et al. SID 10 DIGEST. 2010, p.544.
- 6) 中谷健司. Electronic Journal 2519th Technical Seminar. 2014, p.19-24.
- 7) R. Hattori. NIKKEI ELECTRONICS. 2012, p.40.
- 8) H. Yong et al. J. Vac. Sci. Tech. A17(3), p.862.
- 9) M. Ochi et al. IEICE Trans. 2015 (submitted)
- 10) 中谷健司. 電気ガラス. 2011, No.45, p.7.
- 11) 玉垣 浩ほか. R&D神戸製鋼技報. 2008, Vol.58, No.2, p.42.